



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 197 48 647 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 02 P 6/18  
H 02 K 41/035  
G 01 B 7/02

21 Aktenzeichen: 197 48 647.9  
22 Anmeldetag: 4. 11. 97  
43 Offenlegungstag: 23. 4. 98

DE 197 48 647 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

71 Anmelder:  
Hartramph, Ralf, 71332 Waiblingen, DE

2/3

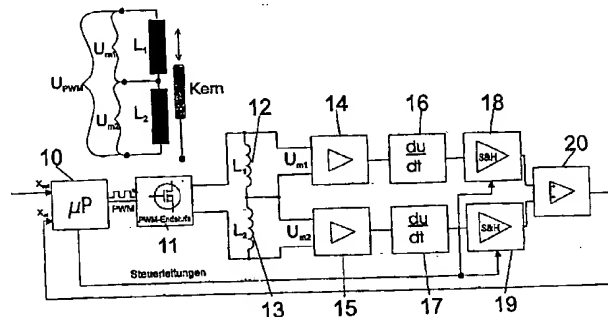
72 Erfinder:  
Hartramph, Ralf, 71332 Waiblingen, DE;  
Schinköthe, Wolfgang, 70437 Stuttgart, DE

1/3

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung

57 Für eine spezielle Bauform elektromagnetischer Antriebssysteme werden Verfahren und Einrichtungen zur integrierten Wegsignalerzeugung, also zur dualen Nutzung der Antriebswicklungen sowohl für die Bewegungs- bzw. Kräfteerzeugung als auch als Meßsystem für die Positionsbestimmung des bewegten gegenüber dem ortsfesten Teilsystems des Antriebs vorgeschlagen, so daß separate Meßsysteme entfallen.  
Das beispielsweise feststehende Antriebsspulensystem eines Gleichstromlinearmotors, bestehend aus mindestens zwei identischen Teilspulen, die seriell miteinander verschaltet sind, wird mit einem pulsweitenmodulierten Stellsignal, mit konstanter Pulsfrequenz und konstanter Schaltspannung beaufschlagt. Zur Wegmessung wird die Impedanzänderung in den Teilspulen des Spulensystems nach dem Prinzip eines induktiven Spannungsteilers über die Ermittlung der Steigungen der elektrischen Spannungsverläufe an den Teilspulen zu einem konstanten Zeitpunkt nach dem Umschalten des pulsweitenmodulierten Stellsignals erfaßt.  
Bei Nutzung einer entsprechenden Ansteuerschaltung erlaubt die Anordnung den Aufbau sehr kompakter Positioniersysteme ohne zusätzliche Meßsysteme.



DE 197 48 647 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung nach dem elektrodynamischen Wirkprinzip. Diese Motoren nutzen die Kraft auf bewegte Ladungen einer bestromten Leiterwicklung in einem vorzugsweise permanenterregten Magnetfeld. Das Magnetfeld kann dabei zwar prinzipiell nicht nur durch einen Permanentmagneten sondern auch von einer zweiten stromdurchflossenen Leiterwicklung erzeugt werden, hier sind jedoch speziell permanenterregte Motoren von Interesse. Zur Nutzung der zwischen den beiden Hauptkomponenten des Motors, dem Permanentmagneten und dem Spulensystem, wirkenden Kraft zur linearen oder rotatorischen Bewegung ist eine der beiden Komponenten (z. B. das Spulensystem) ortsfest, und die andere (im Beispielfall der Permanentmagnet) stellt den bewegten Abtrieb der Anordnung dar.

Motoren dieser Bauform, beispielsweise nach DE 18 08 900, besitzen keine internen Maßverkörperungen und weisen keine Selbsthemmung auf. Eine bestimmte Position anzufahren bzw. eine Position zu halten, erfordert die Realisierung eines kompletten Regelkreises mit mindestens einem Meßsystem für die Wegmessung bzw. bei Forderung nach konstanten gleichförmigen Bewegungen mit einem Meßsystem für die Geschwindigkeit (z. B. Kallenbach, E. Bögelsack, G.: *Gerätetechnische Antriebe*. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1991. Seiten 285 ff.).

Bekannt sind an den Motor angekoppelte externe Meßsysteme oder in den Gesamtaufbau mechanisch integrierte interne Meßsysteme, die jedoch generell von der Antriebswicklung unabhängige separate Bauteile, beispielsweise Meßspulen, nutzen (z. B. Kallenbach, E. Bögelsack, G.: *Gerätetechnische Antriebe*. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1991. Seiten 97 ff. und 249 ff.). Ebenfalls bekannt sind Motoren bzw. Schaltungen, die aus dem Spannungsabfall über der Antriebswicklung ein geschwindigkeitsproportionales Meßsignal ableiten (z. B. Kühne, H.: *Beispiele für Steuer- und Regelschaltungen mit Gleichstromkleinmotoren*. Amateurreihe electronica. Band 176. Militärverlag, Berlin 1979). Für die Wegmessung sind damit derzeit stets zusätzliche separate Meßsysteme oder zumindest zusätzliche Bauteile (Meßspulen) notwendig.

Bekannt sind andererseits auch Motoren, vorzugsweise rotatorische, die die Antriebswicklung gleichzeitig zur Lageerkennung von Übergängen zwischen unterschiedlichen Feldbereichen und damit zur Ableitung eines Kommütierungssignals über die Erfassung von Sättigungsscheinungen nutzen (z. B. in EPE Journal, Vol. 2, No. 1, 1992, 5.25 bis 34). Allerdings ist dabei ein erheblicher elektronischer Aufwand für diese sehr grobe Lagezuordnung erforderlich. Ein genaues, lageproportionales Meßsignal zur Absolutmessung der Läuferstellung ist dabei praktisch nicht ableitbar.

Zur Ermöglichung einer Lageerfassung in rotatorischen und linearen Gleichstrommotoren ohne zusätzliches Meßsystem wurde deshalb in EP 457 389 vorgeschlagen, die verschiedenen Teilschichten des Motors über eine Kurzschlußwicklung, die sich auf dem anderen spulenlosen, passiven Motorteil befindet, elektromagnetisch zu koppeln und in eine der Teilschichten zusätzlich zum Stellsignal ein Meßsignal einzukoppeln, um in mindestens einer anderen Teilschicht, die nicht vom Meßsignal durchflossen wird, eine transformatorische, von der Lage des passiven Motorteils abhängige Einkopplung zu erzielen, die als Meßsignal für die Läuferstellung nutzbar ist. Nachteil dieser Lösung ist einerseits die Notwendigkeit einer Kurzschlußwicklung auf dem passiven Motorteil, aber vielmehr noch andererseits die Tatsache, daß der aktive Motorteil (Stator mit Spulensystem) keine eigene

transformatorische Kopplung in Form einer Kurzschlußwicklung oder eines elektrisch leitfähigen magnetischen Rückschlusses tragen darf. Durch das Fehlen eines magnetischen Rückschlusses wird jedoch die erzielbare Motorkraft und damit die Einsetzbarkeit des Motors sehr stark beeinträchtigt.

Ein im Gebrauchsmuster Nr. 297 05 315.9 beschriebenes Verfahren zur Wegerfassung eines Gleichstromlinearmotors über die duale Nutzung der Teilschichten als Antriebswicklung und Meßwicklung durch die zusätzliche Beaufschlagung des Gleichstromstellsignals mit einer Meßwechselspannung und nachfolgende Auswertung in Form einer Differenz- oder Quotientenbildung zwischen den Amplituden der beiden Teilmeßwechselspannungen hat den Nachteil, daß es durch die Notwendigkeit der Verwendung einer kontinuierlich arbeitenden, analogen Leistungsstufe nur für sehr kleine Motorantriebsleistungen geeignet ist. Durch die in diesem Verfahren verwendeten Filter zur Signalaufbereitung ist die Meßdynamik zudem stark eingeschränkt. Außerdem benötigen beide vorgenannten Vorschläge eine zusätzliche Meßwechselspannung zur Wegsignalerzeugung.

Aufgabe des erfindungsgemäßen elektromagnetischen Antriebssystems mit integrierter Wegsignalerzeugung ist es deshalb, aus den Spannungsverläufen über den Teilschichten des pulsweitenmoduliert angesteuerten Motors einen weg- oder winkelproportionalen, quasikontinuierlichen, vom resultierenden Motorstrom unabhängigen Meßwert für die Relativposition zwischen dem ersten, den Permanentmagneten beinhaltenden Teilsystem des Motors und dem zweiten, das Spulensystem beinhaltenden Teilsystem abzuleiten und damit ein zusätzliches, aus separaten Bauteilen bestehendes, externes oder internes Wegmeßsystem überflüssig werden zu lassen und gleichzeitig die Nachteile der bekannten Lösungen zu vermeiden. Bei bisher bekannten Lösungen mit transformatorischer Kopplung bestehen diese Nachteile in den geringen Schubkräfte durch den zwangsläufigen Verzicht auf einen magnetischen Rückschluß, und bei der bekannten Lösung zur dualen Nutzung der Teilschichten durch Einkopplung einer Meßwechselspannung auf das Gleichstromstellsignal bestehen diese Nachteile in der Einschränkung auf den Einsatz analoger Gleichstromendstufen und damit ebenfalls in der Beschränkung auf kleine Schubkräfte und Motorleistungen. Zudem erfordern beide bisherige Lösungen die erwähnte zusätzliche Meßwechselspannung.

Dazu wurde ein elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung mit einem Elektromotor, der aus einem ersten Teilsystem mit mindestens einem Permanentmagneten und einem zweiten Teilsystem mit einem Spulensystem mit mindestens zwei identischen, hintereinander angeordneten, im permanentmagnetisch erregten magnetischen Feld befindlichen Teilschichten besteht, von denen jedes Teilsystem den feststehenden Stator oder den beweglichen Läufer bilden kann und eine Ansteuerschaltung zur Erzeugung einer pulsweitenmodulierten Stellspannung mit konstanter Pulsfrequenz und konstanter Schaltspannung in dem Spulensystem enthält, entsprechend Patentanspruch 1 so ergänzt, daß eine Auswerteschaltung, die durch jeweils getrenntes Differenzieren der Spannungsverläufe über den Teilschichten und anschließendes Subtrahieren oder Dividieren der dabei entstehenden neuen differenzierten Teilschichten zu einem jeweils konstanten Zeitpunkt nach dem Flankenwechsel im pulsweitenmodulierten Stellsignal einen weg- oder winkelproportionalen, quasikontinuierlichen Spannungswert für die Relativposition zwischen dem ersten, den Permanentmagneten beinhaltenden Teilsystem des Motors und dem zweiten, das Spulensystem beinhaltenden Teilsystem ableitet.

Die Auswertung basiert somit auf einer Induktivitätsana-



sich dort die Induktivität verringert. Durch eine elektronische Auswerteschaltung gemäß Fig. 2 läßt sich diese Induktivitätsveränderung erfassen und aus dem Verhältnis der beiden Teilinduktivitäten, das wegproportional ist, somit der Weg ableiten.

Die beiden magnetisch durch den Permanentmagneten gekoppelten Spulen sind elektrisch in Reihe geschaltet, wie Fig. 2 zeigt. Die Ansteuerung der Spulen erfolgt durch eine pulsweitenmodulierte Rechteckspannung (11), aus der durch die Integrationseigenschaften der Induktivitäten ein resultierender Gleichstrom für Antriebszwecke entsteht, wie hinlänglich bekannt ist.

Zur Messung der Induktivitätsänderung werden die über den Teilspulen (12, 13) abfallenden Spannungen getrennt über jeweils einen Meßverstärker (14, 15) vom Motor entkoppelt und im Signalpegel an die nachfolgende elektronische Auswerteschaltung angepaßt. An den Ausgängen dieser Meßverstärker liegen somit die Abbilder der Teilspannungen über den Einzelinduktivitäten an. Das erfindungsgemäß verwendete Verfahren basiert näherungsweise betrachtet auf dem Schaltverhalten von Induktivitäten. Wird eine Induktivität mit einem ohmschen Innenwiderstand an eine Spannungsquelle angeschlossen, so hat sie im Moment des Einschaltens im Idealfall einen unendlichen Widerstand, welcher sich in Abhängigkeit der Größe der Induktivität exponentiell über der Zeit dem ohmschen (realen) Widerstand angleicht. Betrachtet man die Spannungskurven über der seriellen Verschaltung zweier Induktivitäten so ergibt sich aus dem Induktivitäts-Widerstands-Netzwerk bei unterschiedlich großen Induktivitäten ein dreieckförmiger Spannungsverlauf mit positiver bzw. negativer Steigung, die einer Rechteckfunktion bedingt durch die ohmschen Widerstände der Teilspulen überlagert ist. Die Größe der Steigung des dreieckförmigen Spannungsanteils ist abhängig von dem Verhältnis der beiden Induktivitäten. Sind beide Induktivitäten gleich groß ergibt sich eine ideale Rechteckfunktion über beiden Teilspulen.

Durch eine elektronische Differenzierung (16, 17) des Spannungssignals am Ausgang der Meßverstärker (14, 15) jeweils kurz nach dem Umschalten des pulsweitenmodulierten Stellsignals, läßt sich das Induktivitätsverhältnis beider Teilspulen getaktet mit der Pulsfrequenz bestimmen. Durch Subtraktion (20) der Steigungswerte der Spannungen beider Teilspulen läßt sich die Genauigkeit der Erfassung des Induktivitätsverhältnisses durch Eliminieren von Gleichspannungsstörungen steigern. Wird die Erfassung des Induktivitätsverhältnisses immer zum selben Zeitpunkt nach dem Umschalten des Stellsignals durchgeführt und beispielsweise in einem "Sample and Hold" Glied (18, 19) zwischengespeichert, ergibt sich am Schaltungsausgang des Subtrahierers (20) somit ein wegabhängiges quasikontinuierliches Gleichspannungssignal. Das Signal ist in weiten Bereichen linear von der Läuferposition abhängig, entspricht also dem vorhandenen Wegistwert  $x_{ist}$  des Motors.

Das am Ausgang der Schaltungsanordnung liegende Signal  $x_{ist}$  kann nun für ein Regelsystem verwendet werden, wenn man über eine Subtraktionsschaltung das Signal  $x_{ist}$  mit einem vorgegeben Positionssollwert  $x_{soll}$  koppelt und daraus die Regeldifferenz bildet. Diese Regeldifferenz  $x_{diff}$  wird dann einem Regler zugeführt, so das sich eine klassische Regelungsschaltung ergibt. Damit kann mittels eines Antriebsspulensystems sowohl die Stellbewegung realisiert, als auch ein Wegsignal erzeugt werden.

#### Patentansprüche

1. Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung mit einem Elektromotor, der

aus einem ersten Teilsystem mit mindestens einem Permanentmagneten (1) und einem zweiten Teilsystem mit einem Spulensystem (3) mit mindestens zwei identischen, hintereinander angeordneten, im permanentmagnetisch erregten magnetischen Feld befindlichen Teilspulen besteht, von denen jedes Teilsystem den feststehenden Stator oder den beweglichen Läufer bilden kann und eine Ansteuerschaltung (10, 11) zur Erzeugung einer pulsweitenmodulierten Stellspannung mit konstanter Pulsfrequenz und konstanter Schaltspannung in dem Spulensystem, **gekennzeichnet durch** eine Auswerteschaltung (14-20), die durch jeweils getrenntes Differenzieren der Spannungsverläufe über den Teilspulen und anschließendes Subtrahieren oder Dividieren der dabei entstehenden neuen differenzierten Teilspannungen zu einem jeweils konstanten Zeitpunkt nach dem Flankenwechsel im pulsweitenmodulierten Stellsignal einen weg- oder winkelproportionalen, quasikontinuierlichen Spannungswert für die Relativposition zwischen dem ersten, den Permanentmagneten (1) beinhaltenden Teilsystem des Motors und dem zweiten, das Spulensystem (3) beinhaltende Teilsystem ableitet.

2. Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung in die Ansteuerschaltung integriert ist.

3. Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung nach Patentanspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß beide Teilsysteme zueinander linear verschieblich sind, wobei jedes der Teilsysteme den feststehenden Stator oder den beweglichen Läufer bilden kann.

4. Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung nach Patentanspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Spulensystem (3) und der Permanentmagnet (1) im wesentlichen zylindrisch sind und eine gemeinsame Symmetrieachse aufweisen, wobei entweder der Permanentmagnet (1) oder das Spulensystem (3), gegebenenfalls zusammen mit jeweils weiteren Stützelementen oder Teilen des magnetischen Kreises, verschieblich zu einer parallelen Richtung zur gemeinsamen Symmetrieachse angeordnet sind.

5. Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Spulensystem (3) von einem magnetischen Rückschluß (4), der sowohl elektrisch leitend als auch elektrisch nichtleitend sein kann, umschlossen wird, der die magnetische Feldverteilung des Permanentmagnetfeldes unterstützt bzw. beeinflusst.

6. Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich zwischen den beiden Teilsystemen ein geringer Luftspalt und gegebenenfalls eine elektrisch leitende oder elektrisch nichtleitende Führungsbuchse (2) befindet.

7. Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß axial am Permanentmagneten (1) zur Erzeugung radial gerichteter Magnetfelder zwei Polschuhe angeordnet sind.

8. Elektromagnetisches Antriebssystem mit integrierter Wegsignalerzeugung nach mindestens einem der vorgenannten Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet,

net, daß das Gesamtsystem eine elektronische Regelschaltung umfaßt, welche das gemessene Wegsignal ( $x_{ist}$ ) mit einem vorgegebenen Wegsollwert ( $x_{soll}$ ) vergleicht und aus der Differenz der beiden Signale die Eingangsgröße für einen Positions- oder Bahnregler (10) liefert, der wiederum die Antriebsströme so einstellt, daß die Läuferposition auf den Positionssollwert oder die Bewegung auf eine Soll-Fahrkurve ausgeregelt wird.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

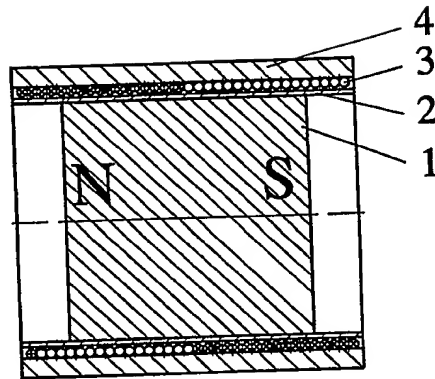
45

50

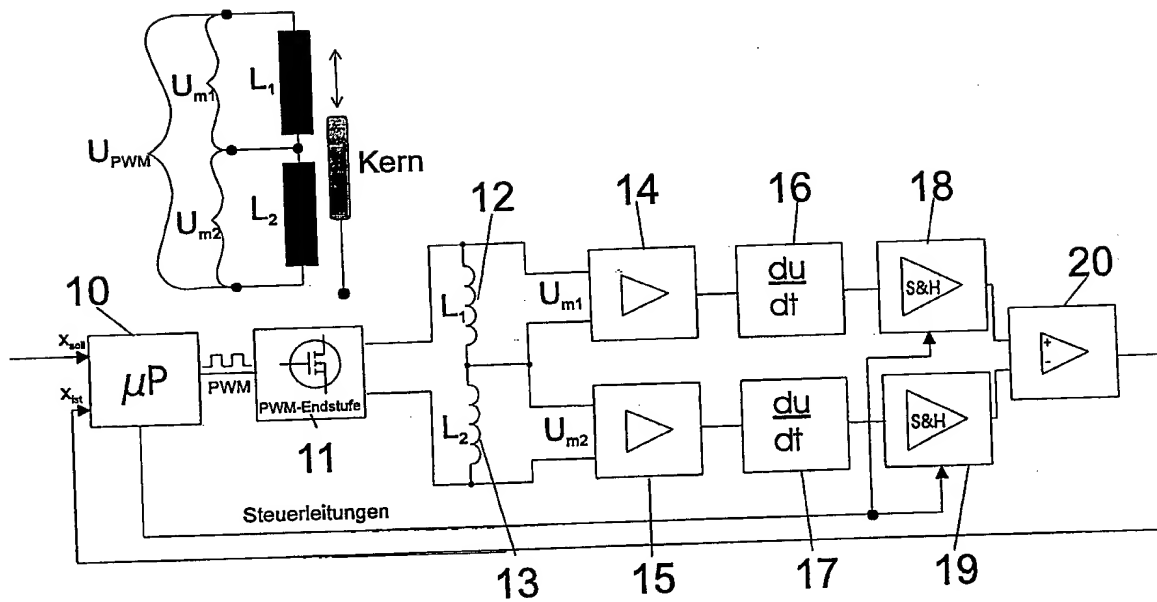
55

60

65



Figur 1



Figur 2